

立体音とこれに対する心理的計量

著者	吉田 登美男
号	3
発行年	1957
URL	http://hdl.handle.net/10097/8739

氏 名	吉 田 登 美 男
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭和 33 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気及通信工学専攻

学 位 論 文 題 目	立体音とこれに対する心理的計量
-------------	-----------------

指 導 教 官	東北大学教授	永 井 健 三
論 文 審 査 委 員	東北大学教授	松 平 正 寿
	東北大学教授	永 井 健 三
	東北大学教授	大 泉 充 郎
	東北大学教授	二 村 忠 元

論文内容要旨

§ 1. 概 要

本論文では現在最も優れた再生方式と一般に考えられている所の立体再生方式の実体を品質論的展開と共に解明したものである。立体再生方式はさて置き一通話路再生方式に於いてすらも、その高級品質論は確立して居なかつたのが、この研究を始めた当時の実状であつた。又現在に於いても音声の自然度に関する三浦、越川の両氏による心理尺度の研究が行われている程度である。

この様に、品質論特に高級品質論の発達がおくれたのは物理量に対応する生理量、心理量の關聯を適確に把握、理解する方法論が見当らなかつたためここに品質論の困難な障壁があつた訳である。

本研究の最も大きな困難も茲にあつた訳で、これを救うべき生理、心理の資料、理論が殆んど無かつたのが研究当初の実状であつた。

従つて本研究では方法論として初めに高級品質そのものを対象としないで、まず最も基本的な立体音の性質を第1章で取扱つた。即ち、方向定位を支配する3つの物理的要因、即ち、両耳の“振幅差”“時間差”“位相差”を夫々独立な変数として両耳に加え、それが方向定位に貢献する効果を単純な実験心理の方法で解明した。その結果、方向定位に及ぼす効果は両耳の“振幅差”と“時間差”であり、これらは互に置換え可能な程、同等の効果を有している。併し位相差は殆んど方向定位に貢献しないで、むしろ、振り、音色等の二次的効果を及ぼしていることが明らかとなつた。次にこの様な両耳に独立に作用する変数が、実際の立体再生音場に於いて夫々が同時に作用した時の方向定位を取扱つた。

時間差は既に取扱われているので、振幅差、位相差について取扱つた。ここで、立体再生音場の両耳の振幅差は殆んど無視されていた従來の解析には種々の困難があつたが、両耳の指向性を含めた解析によれば理論値と実験値とはよく一致することが証明された。

この様に問題を単純化して取扱つた結果、その誘導される結論はどうしても基本的性質の定量的解析しか行えず、高級品質の実体を把握することが出来なかつた。

従つて第2章では、吾々の聴取経験に近い状態で立体音を評価する目的で、当時唯一の伝送品質計量法と考えられていた明瞭度試験法を採用した。これは沢山の送話者が同一の音場で発声している時でも普通吾々はそれと同一音場に居れば充分撰択聴取出来るが、これを立体再生した時と一通話路再生した時とで、この様な Original な聴取経験がどの程度保持されるかを明瞭度試験によつて Model 化して、実験して比較したものである。この結果立体再生音の撰択効果は原音場より悪いが、一通話路のそれより優れていることが明らかとなつた。併しこれを理論的解析によつて裏付けることは極めて困難であり、立体音の特徴を定性的にしか説明し得ない。又、この理論的解析の一段階として必要になつたことであるが、両耳の明瞭度計算法が従來無かつたので、筆者は両耳の明瞭度を Loudness で接続させた Loudness parameter なる概念を新たに導入して両耳の明瞭度指数を理論的に誘導した。これは物理量としての音声、聴覚に投影する際、蝸牛内の基底膜の振動動態及び神経活動電位の機序をも数学的に取扱い、その結果として心理領域で接続した所に方法論的又は理論的意味があると考え、即ち、将来品質論の発展の内で理論的分野ではこの様な解析法による発展が望ましいと考えるからである。

第3章ではこの様な従來の方法論に支配されず、全く新しい立場から、立体音の有する高級伝送品質を直接的にしかも定量的に取扱つた。

前の2つの章で述べた研究方法はその方法論自体のもつ欠陥から高級品質の実体を説明することが困難であつたのに対して、第3章では高級品質の分節に富んだ解析が可能となり、又その実体も極めて良く説明された。

即ち、立体音の高級品質を十数個の品質概念に分割し、夫々の概念を一対比較法及び Rating Scale 法によつて心理尺度を構成させた。この結果各品質項目について立体音と従来の単一通話路再生との高級品質に関する相異（心理的に評価されたへだたり）が、明瞭に心理尺度の上に定量的に表示されて、立体音の聴覚的に見た高忠実度性が明確となつた。

更に一対比較法の資料を利用して各品質項目毎の心理尺度間の相関を求める理論を考察して、14本の尺度間の相関係数表を作成した。この相関係数表は立体音の実体を極めて良く説明している。即ち、立体音の高級品質の向上を支配した要因は立体方式による“音源の分離の向上”と“音の拡がりの発生”によるものであり、立体音が“快よく”、“豊かで”“生々して居り”“澄んだ音であり”“臨場感がある”と言うような高級品質の向上は、“分離”と“拡り”の2つの要因によつて誘導されたものであることが明らかとなつた。

この結論は第1章で述べた基本的性質即ち方向定位によつて誘導されたものであり、第2章の選択効果も第3章の定性的説明の役をする。

この様に立体音の如き、高度の高級品質を取扱うため、筆者は3つの段階の方法論的経過をたどることを必要とした。特に第3章の如く品質論に心理尺度を導入したのは、ほぼ時を同じくして三浦、越川氏によつて行われたが、立体音の如く多くの高度の品質についてこれを計量し、更にこれらからその相関を求めて立体音の実体までも明らかにしたような方法論的展開は他に例を見ず、品質論としても多少の意味を持つものではないかと思う。

§ 2. 立体音の方向定位に関する解析

立体音の基本的性質である所の方向定位能力を聴覚との関連に於いて解析した。方向定位に作用する物理的要因として、両耳の

- (1) 時 間 差
- (2) 振 幅 差
- (3) 位 相 差

を夫々独立な変数として取扱うため、両耳受話器を用いて Dichotic hearing を与えて考察した。この3要因の効果を Fig. 1, 2, 3 に示す。

この結果から明らかに (1) と (2) の効果が方向定位に夫々独立に貢献し、更に Fig. 4 の如く互にこの貢献の程度及び効果が置換えられることが分つた。位相差はむしろ音色、拡がりの変化に貢献している。

次にこれを立体再生音場について考察した。始め音場の性質を、耳の指向性をも含めて立体音場の両耳点の振幅差、位相差を解析した。この解析によつて Fig. 2 の結果から予想される方向定位と実験結果とは Fig. 5 の様に極めて良い一致を見せた。

立体音場の時間差に関する解析は Collincherrey に よつて行われたので、茲では特に述べない。

§ 3. 立体音場の明瞭度試験による評価

立体音場が吾々の聴取経験に近いことを証明する目的で Fig. 6 に示す様な実験を行つた。

この回路にによつて明瞭度試験を行つた結果、Table 1 の様な結果を得た。

これによつて立体音は一通話路再生音に比べて原音場の聴取経験に近いものを与え、原音場より悪いことが分る。この様な立体音の性質の起因は当然、一通話路再生音に比べてその方向定位作用の発生に基づく分離の向上によるものと考えるが、併しその他にも音色の改善、残響感の改善、聴取の自然さ等に基づくものと考えられ、その定性的分析を実験的に行つた。

§ 4. 両耳の明瞭度指教の誘導理論と実験値の対応

\bar{A} を明瞭度指数、 N を Loudness、 m を単耳、 B を両耳の Suffix とすれば \bar{A} と N は夫々次

Fig. 1. 時間差による音像の偏位.

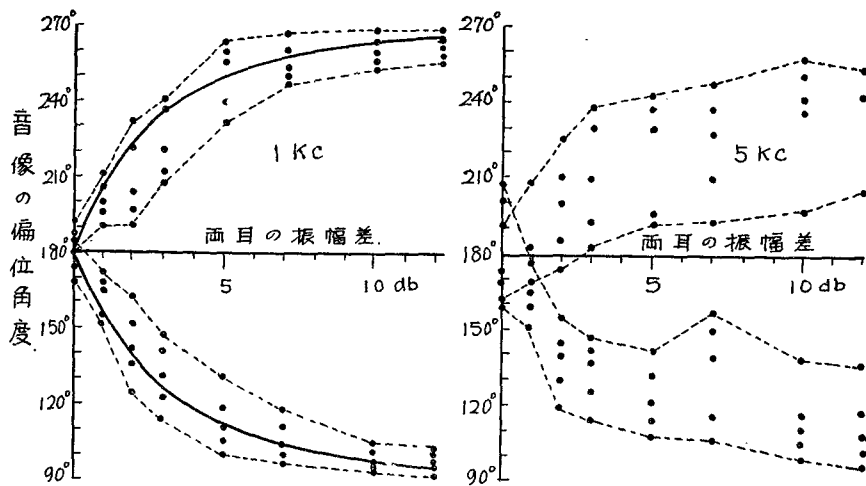
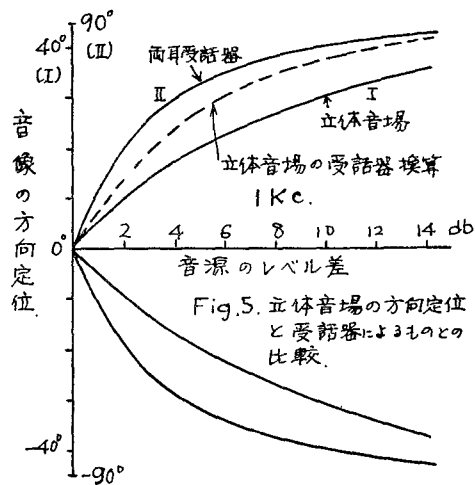
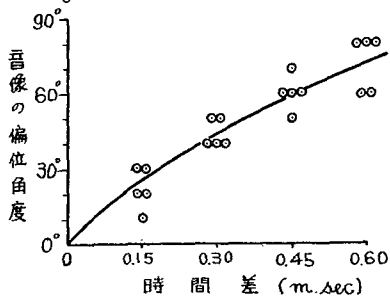


Fig. 2 両耳の振幅差による音像の偏位角度(1 Kc, 5 Kc.)

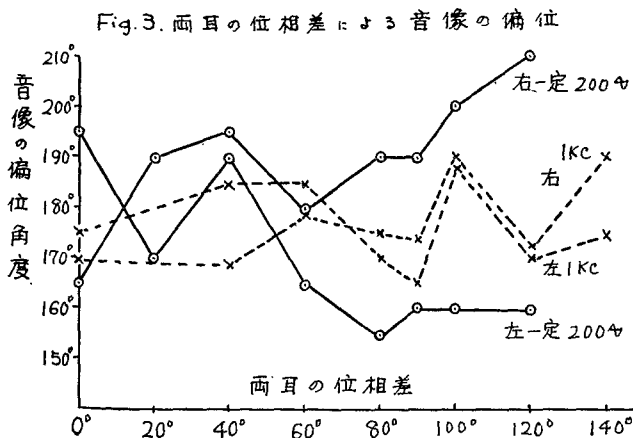


Fig. 3. 両耳の位相差による音像の偏位

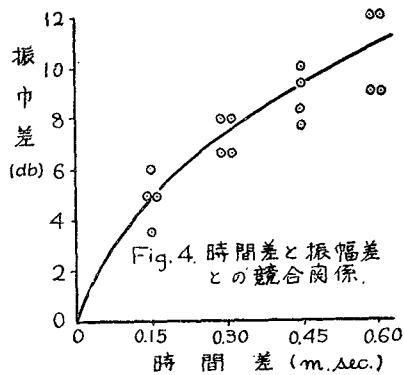


Table 1. 選択効果の実験結果

	実験 I	実験 II	判定
受聴形式	同一音響 立体音場	1ch. 2sp 1ch. 1sp	
音節明瞭度	92.0%	80.0% 69.0%	69.1% **

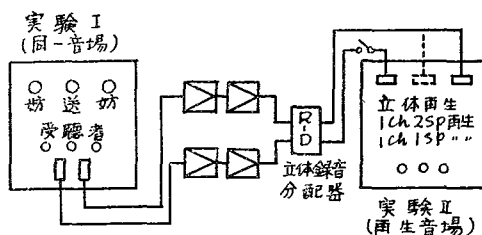


Fig. 6. 選択効果の伝送方式による比較。

の積分式で表示される。

$$\dot{A}_B^m = \int_0^\infty \dot{W}_{\beta N_B^m} \{ \dot{E}(\alpha, f) \} D(f) df = \dot{A}_B^m(\alpha) \quad (1)_B^m$$

$$\dot{N}_B^m = \int_0^\infty \dot{N}_f^m \{ \dot{Z}(\alpha, f) \} F(f) df = \dot{N}_B^m(\alpha) \quad (2)_B^m$$

茲で α は回路の減衰量 (re. O.T.R), f は周波数, \dot{E} は音声の実効感覚レベル, \dot{Z} は音声の帯域感覚レベルである。又 \dot{W} は \dot{E} の周波数成分が明瞭度に貢献する成分, D は音声の明瞭度重要度の周波数成分, 又, \dot{N}_f は \dot{Z} の周波数成分が大腦皮質へ伝送する神経の活動電位に貢献する量, 又は \dot{Z} による Loudness の周波数成分で, F は各周波数の基底膜上の共振点の周波数座標である。(1)_m (2)_m (1)_B は既に成立しているが, $\dot{W}_{\beta N_B}$ が誘導されていないので (1)_B は求められていない。(1)_B を求めるため, (1)_m (2)_m から a を消去し

$$\dot{A}_m = \dot{G}_m (\dot{N}_m) \quad (3)$$

とし, \dot{A}_B についても形式的に

$$\dot{A}_B = \dot{G}_B (\dot{N}_B) \quad (4)$$

とし

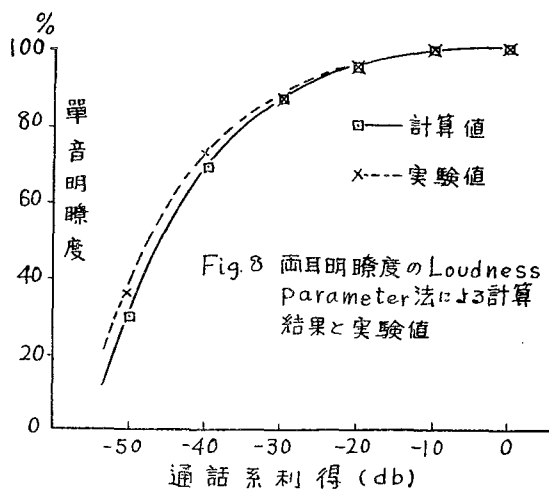
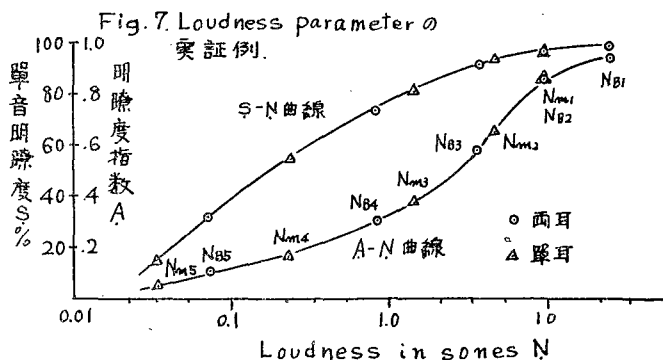
$$\dot{G}_m = \dot{G}_B = \dot{G} \quad (5)$$

が成立つと仮定する。この仮定の心理学的意味は省略するが, 実験によれば, この仮定は正しいことが Fig. 7 の例で証明される。

(5) の \dot{G} は Loudness と明瞭度とを心理的領域で接続して両耳明瞭度の計算を可能にしたもので Loudness parameter と名付けた。

Loudness parameter の存在が肯定されたので (4) から両耳の明瞭度指数 \dot{A}_B は計算可能となる。Fig. 8 にその理論値と実験値とを示す。

この理論値と実験値とは極めてよい一致を見せている。



§ 5. 立体音の高級伝送品質の心理的計量

立体音の高級伝送品質を直接心理的に計量するために、高級品質を十数箇の項目に分け、各項目毎に一対比較法又は Rating Scale 法で心理尺度を求めこの尺度上で立体音を一通話路再生音と定量的に比較した。

この様に各品質項目毎の尺度を求めるために、各品質概念を被験者の心理領域の中で規定し、互に統一し、固定化させるために充分慎重な概念規定の手続をとった。概念を取扱う基本的方針は Stevens, Hull 等によつて行われる介入変数の考え方で全く操作主義の立場に立つたものである。

実験はあらかじめ考慮される心理的誤差を最小になる様に考慮されて居る。一対比較法では刺激の提示方法は各刺激対の順序に、ABA 法、又は AB 法を用いて比較判断した。又、Rating Scale 法では各刺激間の経時的提示による誤差の効果が最小になる様に、絶対判断を要求した。

実験の全回路系を Fig. 9 に示す。

Fig. 9 で送話系及び線路歪系の伝送条件を種々変えて、これが受話系で、4名の被験者によつて同時に判断される。Speaker 受聴、受話器受聴の場合及び録音機の夫々の周波数特性を Fig. 10, a, b, c に示す。

実験結果を夫々一対比較法では Thurstone の case III の方法、Rating Scale では所定の誤差補正法を用いて計算すると Fig. 11~15 迄の尺度を得る。

Fig. 11, Fig. 12 では無響室の立体再生時と両耳受話器による立体再生時の 10 項目の高級伝送品質について 14 本の尺度を求めた。茲で 3 とか 5 などの数字は両 Channel の Mixing Level で 2 ch, 1 ch は夫々 2 channel, 1 channel 再生音を示す。

この結果各高級品質が 1 channel よりも 2 channel が優れている程度が品質を表わす心理尺度上の距離として数量的に評価された訳である。

1 ch. 2 ch. ととの距離の絶対値が大いほどその品質の向上が心理的に顕著であることを示すものであり、これらを 3 つの群に大別すると、

- (1) 距離が約 3 のもの (相異が 98.7 % の確率で分るもの)
豊かさ (受) 拡がり (受)
- (2) 距離が約 2 のもの (相異が 92 % の確率で分るもの)

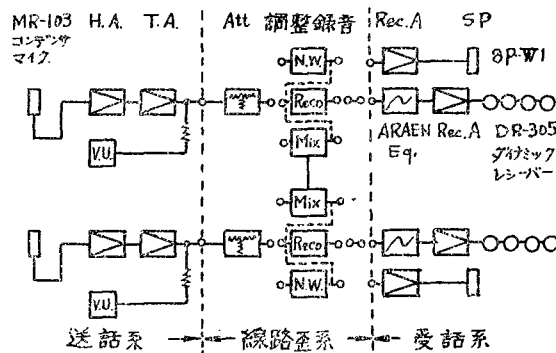
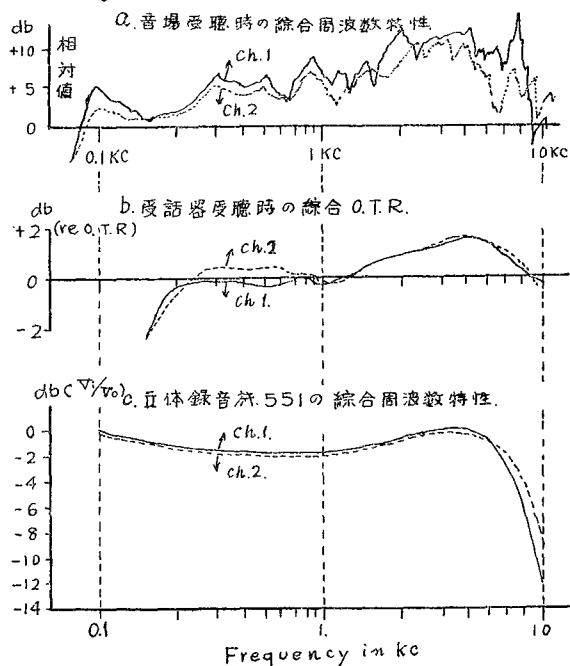


Fig. 9. 心理実験用全通話系.

Fig. 10 全通話系の周波数特性



雑音と信号との分離 (音場) 遠近感 (受) 不快な雑音感 (受)
快よさ (受)

(3) 距離が約1のもの (相異が76%の確率で分るもの)

(1), (2) 以外の品質項目

以上の如く立体音が一通話路より極めて優れた高級品質をもたらしついることが定量的に明確になった。又品質項目は“不快な残響感”を除いて“分離”と“拡がり”に代表される2つの群に分けられることが分つた。

Fig.11. 各種伝送品質尺度とMixing Levelとの対応
(無音室再生受聴の場合)

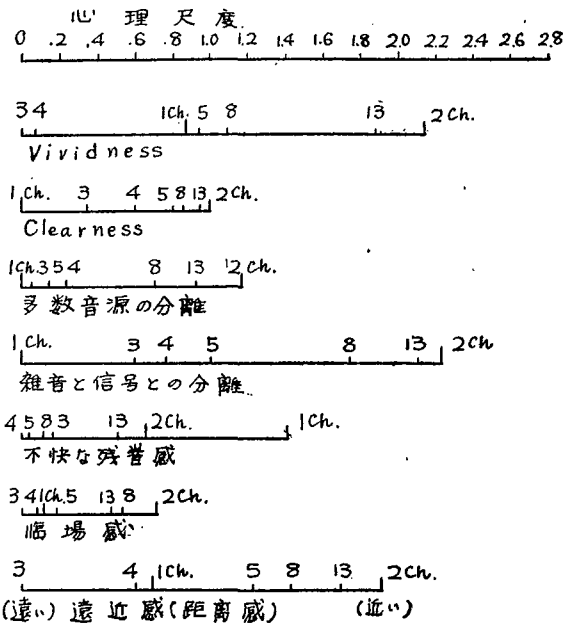
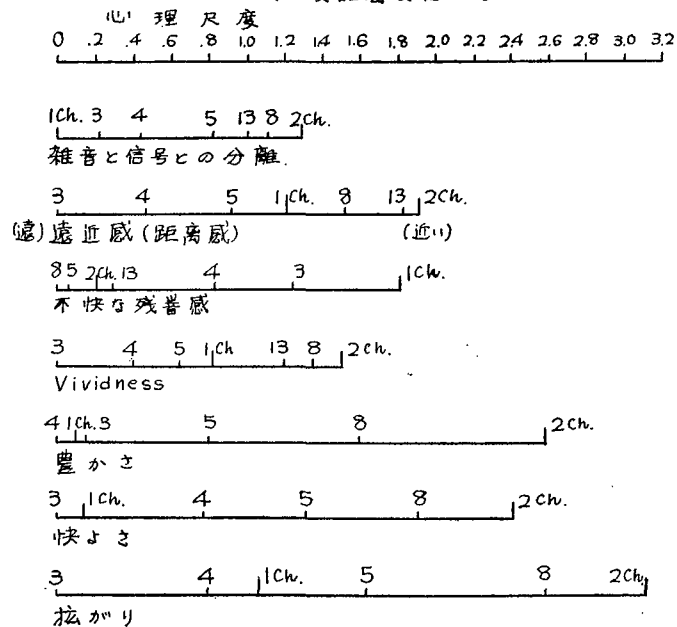


Fig.12 各種伝送品質尺度とMixing Levelとの対応
(両耳受話器受聴の場合)



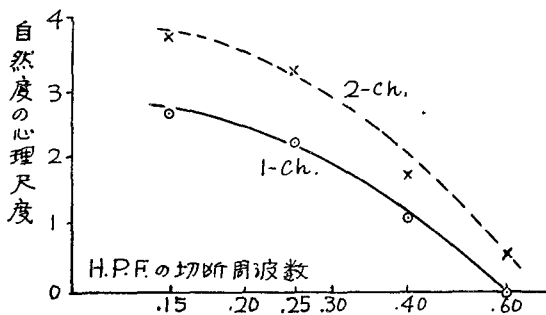


Fig. 13. 自然度の周波数帯域との対応

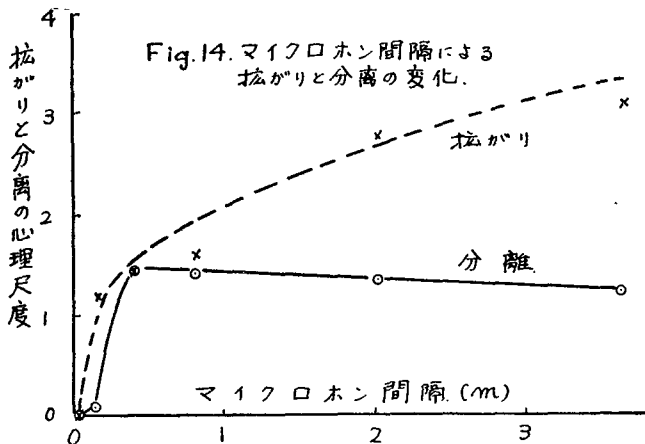


Fig. 14. マイクロホン間隔による
拡がりと分離の変化

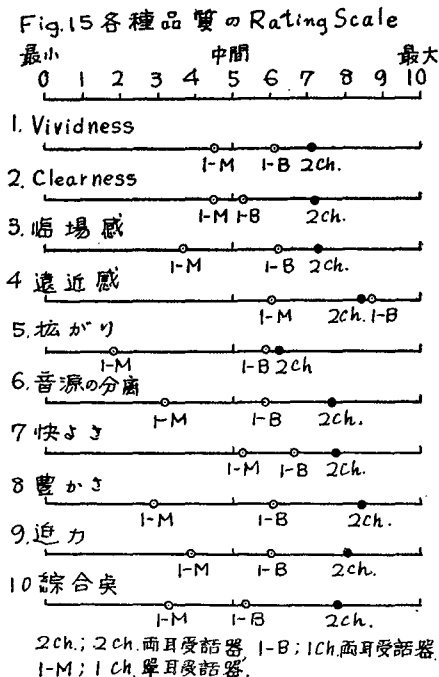


Fig. 13 には 2 つの可変高域濾波器を用いた場合の音声の自然度に関する 2 ch. と 1ch. との比較を示す。

この結果からも 2 ch. が 1 ch. よりも優れた高品質をもっていることが明らかである。

Fig. 14 にはマイクロホンの間隔を変えた時の“分離”と“拡がり”がどの様に変化するかを示す。

この資料は Fig. 11, 12 で分離型と拡がり型の 2 つに大別されること知れていたが、この 2 者の性格の相異が表われて、実際の設計上の目的からも興味ある問題である。Fig. 15 には Rating Scale 法で求めた 10 箇の品質に関する絶対尺度を示す。

Fig. 11, 12 の尺度は相対尺度であつたのに対して、この尺度は絶対尺度であり、吾々の品質の等級を示す尺度の上で 2 ch, 1 ch, 両耳, 1 ch, 単耳の夫々の受聴形式が評価されている。この実験結果には若干、実験操作上の誤りによる誤差が含まれているが立体音が如何に優れた再生音として評価されているをかなり具体的に示している。

尚この絶対尺度の上に Fig. 12 の相対尺度を対応させることによつて、この二者のもつ尺度の欠点を補うことが出来るが、図面は省略する。

次にこの様にして得た種々の高級伝送品質間の相関関係を求めて見よう。元来一対比較法は心理尺度間の相関を求めることを前提とした実験法ではないため、これらの資料をそのまま利用して心理尺度間の相関係数を求めるためには特別の工夫が必要であつた。筆者は一対比較法の Thurstone の理論に観測誤差項を含めた一般的取扱

いから、尺度とこの誤差とを分離する理論を新しく考案して、これを利用して 14 の品質間の相関係数を計算した。

尺度と誤差を分離して2つの心理尺度同志を対応させた例を Fig. 16 に示す。
又 Fig. 11, 12 に示した尺度について相関係数を計算した結果を Tab. 2 に示す。

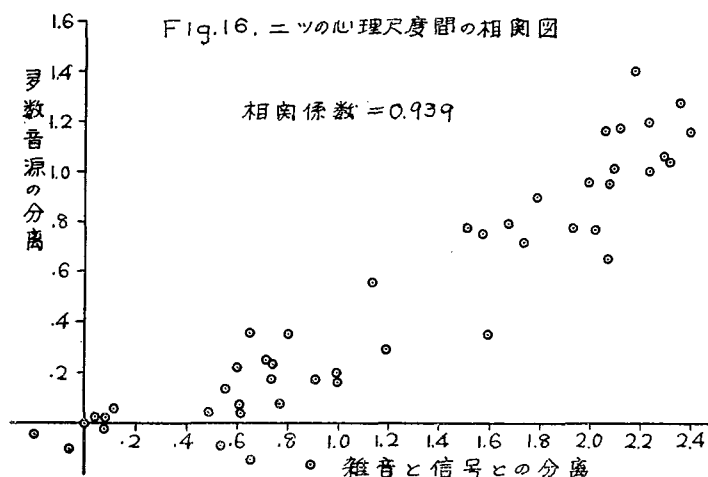


Table 2. 各種品質間の相関係数表

	無 響 室 受 聴							両 耳 受 話 器 受 聴						
	1. Vivid- ness	2. 臨場 感	3. 音分 源の 離	4. 遠近 感	5. 不残 快響 な感	6. Clear- ness	7. 雑の 音分 と離	8. 雑の 音分 と離	9. 不残 快響 な感	10. 遠近 感	11. Vivid- ness	12. 豊 かさ	13. 快 よさ	14. 拡 がり
無 響 室 受 聴	1. Vividness	.786	.808	.670	.245	.593	.754	.756	-.574	.984	.728	.772	.941	.946
	2. 臨場感		.765	.883	.059	.718	.613	.724	-.539	.939	.800	.718	.828	.860
	3. 音源の分離			.823	-.053	.797	.939	.735	.424	.521	.498	.925	.595	.588
	4. 遠近感				.711	.758	.904	.733	.640	.940	.730	.716	.848	.950
	5. 残響感					-.489	-.219	.276	.562	.339	.308	-.024	-.425	-.121
	6. Clearness						.944	.448	.537	.427	.373	.629	.741	.668
	7. 雑音との分離							.816	-.191	.583	.586	.669	.819	.707
両 耳 受 話 器 受 聴	8. " "								.754	.695	.756	.899	.932	.792
	9. 不快な残響感									.655	.691	.699	.345	-.686
	10. 遠近感										.974	.822	.867	.866
	11. Vividness											.811	.888	.889
	12. 豊かさ												.837	.881
	13. 快よさ													.885
	14. 拡がり													

この相関係数表は立体音の実体を極めて良く説明するものである。即ち、各品質間の関聯を示す相関係数は不快な残響感を除いて極めて大きい値を示している。これは高級品質の内容が互に他の品質の存在に依存していることを示し、品質間のつながりが明瞭に観測される。このことは一般高級品質論に於いて重要な意味を持つだろう。この関連を立体音の実体の帰納へとたどつて見れば、不快な残響感を除いたすべての高級品質は“分離”と“拡がり”なる立体音の基本的品質に帰納される。

この“分離”と“拡がり”は第1章で扱った方向定位作用の発生に基づくもので又、第2章で定性的に述べた撰択作用を助長させたものである。

立体音の高級品質である所の“快よさ”“豊かさ”、“Vividness”、“Clearness”、“臨場感”などの他に見られない original な音に近い高忠実度性はすべて方向定位作用に基づく“分離の

向上”と“拡がりの発生”と言う基本的因子の発生に誘導されたものであることは將に驚くべきことで、如何に立体音が吾々の眞の Hearing に Match したものであるかがこれによつて明らかとなつたであろう。

一般品質論が、從來考へられていた周波数特性の向上とか、非直線歪、S/N の改善などと言う物理的な解析に終始することなく、眞に聴覚の本質が要求している方向へ解析の焦点を合わせることが如何に重要なことであるかがこれによつて理解出来ると思う。

謝 辞

本研究を行うに當つて、終始御指導御鞭撻頂いた永井教授、佐藤助教授、岩崎助教授に厚く御礼申し上げる。又御援助、御指導をおしまれなかつた電々公社電気通信研究所の早坂音響研究室長、三浦主任に深く謝意を表するものである。実験に直接協力された電々公社職員、鉄木、樋下田、宮本、庄司、河西の諸嬢、及び本学学生、松山、横田、大場、森、福田、吉岡、地村、岡田、故長沢の諸嬢には深くその努力に感謝する。

又、卒業研究として、多大の努力をおしまれなかつた寺西昇君の労を多としたい。

審 査 結 果 要 旨

本論文は3章から成つていて、所謂立体音が他の音響再生方式に比較して優秀であり実際の音響に近似した高級品質である事を解明したものである。立体音の優良さは、主として心理的、生理的方面から計測しなければならない点に本研究の困難さがあつた。

第1章に於ては立体音の基本的性質である方向定位作用を取扱つた、方向定位に寄与する要因は両耳に加わる時間差、振巾差であつて、位相差は音色、拡がりの様な2次的要因と考へられる。従来両耳点の音響に於ける振巾差は少いものと考へられていたが、之は誤で耳の指向性を含めた解析によつて、立体音場の両耳の振巾差による方向定位と、受話器による方向定位とは、よく一致した。又立体再生音場は干渉音場であるから2つのスピーカ-の位相差によつて両耳に振巾差を生ずることを明にした。然しながら之等は純音について解析実験したもので、立体音の基本的性質しか解析出来ず立体音の諸性質を詳細に論ずることは困難であつた。

そこで第2章に於ては現在伝送品質の評価方法として用いられている唯一の心理的計量法である明瞭度試験の方法を立体音の評価法として取り上げた。立体音は1通路再生に比べて、吾々の聴取経験に近いものを与えるので、立体音の撰択効果について、明瞭度試験を行つた。この結果立体音場の撰択効果は1通路再生音場より大きく、原音場より少いことが解つた。更に両耳の場合の明瞭度計算法が無かつたので著者は両耳の明瞭度を Loudness で接続させ Loudness parameter なる新しい概念を導入し両耳の場合の明瞭度を計算可能にした。この理論と実験値とは極めてよい一致をみた。Loudness parameter は物理量としての音声心理量として投影した2つの量、即ち明瞭度と Loudness を心理領域で接続出来た所に意味がある。

第3章に於ては全く別の立場から、高級品質を直接定量的に取扱つた。即ち立体音の高級品質を十数箇の品質概念に分割し、夫々の概念を一対比較法及び Rating scale 法によつて尺度を構成せしめた。之等の方法を立体音の計量に適用したのは著者が最初であつて、この結果各品質項目について立体音と1伝送路による音との相異が明瞭に尺度の上に表示され立体音の優秀さが明確となつた。之は立体音声品質の計量方法を創案したものと言うことが出来る。

更に一対比較法の資料をそのまま利用して之等の品質尺度の相関をもとめる理論を考案し、14本の尺度について相関係数表を作成した。この相関係数表は、立体音の実体を極めてよく説明している。この結果立体音の高級伝送品質の向上を支配した大きな要因は“音源の分離の向上”と“音の拡がりの発生”によるものであることを明にした。“立体音の快よさ”“豊かさ”“臨場感”“Vividness”等の高級品質は上記の要因に依つて誘導された品質向上である事を明とした。

以上著者は全く未知であつた立体音の分野の研究を行い、多くの因子について心理的計量を行い立体音に対して多くの知見を加へたものであつて従来の学術水準及び文化の進展に寄与するところが少なくない。よつて本論文は学位論文として合格と認める。